



VIII Congresso Ibérico
de Geoquímica
XVII Semana
de Geoquímica

GEOQUÍMICA DE SOLEIRAS E FILÕES APLITO-PEGMATÍTICOS GRANÍTICOS DO CENTRO DE PORTUGAL: CRISTALIZAÇÃO FRACCIONADA, FLUXOS E FLUIDOS

GEOCHEMISTRY OF GRANITIC APLITE-PEGMATITE SILLS AND VEINS FROM CENTRAL PORTUGAL: FRACTIONAL CRYSTALLIZATION, FLUXES AND FLUIDS

A.M.R. Neiva^{1*}, J.M.F. Ramos², P.B. Silva²

¹ Departamento de Ciências da Terra e Centro de Geociências, Universidade de Coimbra, Portugal.
neiva@dct.uc.pt

² Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) e Centro de Geociências, Portugal. farinha.ramos@lneg.pt, paulo.bravo@lneg.pt

Resumo

As soleiras e filões aplito-pegmatíticos graníticos de Arcozelo da Serra, Cabeço dos Poupos (Sabugal) e Gonçalves (Belmonte) podem ser derivados por cristalização fraccionada de quartzo, plagioclase, feldspato potássico e biotite de um magma de granito da área respectiva, o que foi testado por modelização, usando o método de regressão de mínimos quadrados para os elementos maiores e a equação de cristalização fraccionada perfeita para os elementos menores. Há aumento no grau de evolução dos aplito-pegmatitos de Arcozelo da Serra para os de Cabeço dos Poupos e destes para os de Gonçalves, pois há aumento progressivo na quantidade e número de minerais litiníferos. Os aplito-pegmatitos graníticos do subtipo lepidolítico são os mais evoluídos e derivam de um maior grau de cristalização fraccionada, sendo os mais ricos em fluxos (H₂O, F, P, B) e fluidos. Com o aumento do grau de evolução dos aplito-pegmatitos diminui o efeito dos fluxos e fluidos nos teores de Sr e Ba, mas aumentou esse efeito no teor de Rb. A cristalização fraccionada causou aumento nos teores de Rb, Li, F, Sn e Ta nos aplito-pegmatitos graníticos, especialmente nos do subtipo lepidolítico e os fluxos e fluidos influenciaram a cristalização de lepidolite, cassiterite e óxidos de Nb-Ta.

Palavras chave: aplito-pegmatito, cristalização fraccionada, fluxos, fluidos, granito, modelização

Abstract

The aplite-pegmatite sills and veins from Arcozelo da Serra, Cabeço dos Poupos (Sabugal) and Gonçalves (Belmonte) can be derived from a local granite magma by fractional crystallization of quartz, plagioclase, potash feldspar and biotite, which was modelled using a least-squares regression method for major elements and the equation for perfect fractional crystallization for trace elements. There is an increase in the degree of evolution of the granitic aplite-pegmatites from Arcozelo da Serra to those of Cabeço dos Poupos and from these to Gonçalves, as there is a progressive increase in the amount and number of Li-bearing minerals. The lepidolite subtype aplite-pegmatite sills are the most evolved and derived from a higher degree of fractional crystallization and are the richest in fluxes (H₂O, F, P, B) and fluids, which controlled the Ba and Rb behaviours. With the increase in the degree of evolution of aplite-pegmatites, the effect of fluxes and fluids decreased on Sr and Ba behaviours, but increased on the Rb behaviour. The fractional crystallization caused increase in Rb, Li, F, Sn and Ta contents from aplite-pegmatites, mainly in those of lepidolite subtype and the fluxes and fluids influenced the crystallization of lepidolite, cassiterite and Na-Ta oxides.

Keywords: aplite-pegmatite, fluxes, fluids, fractional crystallization, granite, modelling

1. Introdução

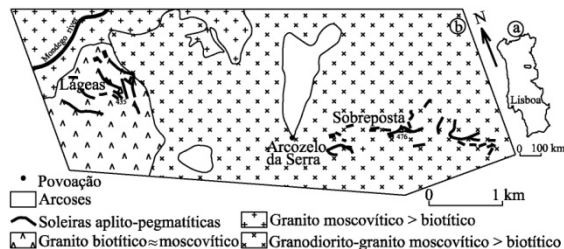
A origem dos pegmatitos tem sido discutida. As composições químicas de granitos, aplitos, pegmatitos graníticos e seus feldspatos e micas permitem interpretar a petrogénese e geralmente favorecem a cristalização fraccionada. Este mecanismo é apoiado pelo trabalho experimental (London, 2008).

Aplito-pegmatitos graníticos de Arcozelo da Serra (Neiva et al., 2008), Sabugal (em preparação) e Belmonte (Neiva e Ramos, 2010) estão situados no centro de Portugal e na Zona Centro Ibérica do Maciço Ibérico. Neste trabalho discutem-se as suas petrogénese.

2. Área de Arcozelo da Serra

2.1 Geologia e Petrografia

Nesta área, o granodiorito-granito de grão grosseiro porfiróide moscovítico>biotítico passa gradualmente ao granito de grão médio a grosseiro levemente porfiróide moscovítico>biotítico (Fig. 1). O granito de grão fino a médio, levemente porfiróide biotítico□moscovítico intruiu os outros granitos e os contactos são nítidos. Estes granitos têm idades U-Th-Pb de monazite por SHRIMP de 289 ± 3 Ma e são pós-D3.



As características das soleiras aplito-pegmatíticas de Sobreposta e Lágeas são dadas na Tabela 1. As soleiras possuem mais pegmatito do que aplito e aplito-pegmatito. Tanto em Sobreposta como em Lágeas, há soleiras simples e complexas (Neiva et al., 2008), atingindo nove camadas alternantes de aplito, aplito-pegmatito e pegmatito, com aplito a muro e pegmatito a tecto em Lágeas.

Os três granitos possuem quartzo, microclina micropertítica, plagioclase, biotite, clorite, moscovite, zircão, apatite, monazite, ilmenite e

rútilo. O granito moscovítico>biotítico tem também andaluzite, silimanite e turmalina. A petrografia das soleiras aplito-pegmatíticas é apresentada na Tabela 1.

2.2 Geoquímica

Os diagramas de variação indicam que as soleiras aplito-pegmatíticas graníticas estão relacionadas por cristalização fraccionada com o granito biotítico□moscovítico (Fig. 2), o que é apoiado pelos perfis de terras raras e diagrama ^{18}O versus SiO_2 das rochas, decréscimo do teor de anortite da plagioclase deste granito para as soleiras aplito-pegmatíticas e diagramas Li versus Mg da biotite e Al^{VI} versus Fe da moscovite (Neiva et al., 2008).

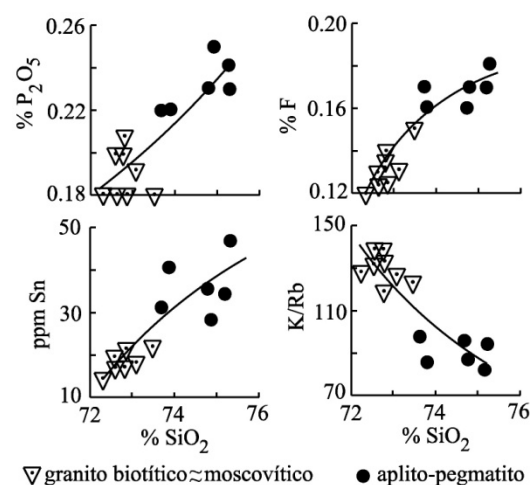


Fig. 2 - Diagramas de variação do granito biotítico□moscovítico e soleiras aplito-pegmatíticas graníticas de Arcozelo da Serra, sugerindo cristalização fraccionada.

Foi feita modelização para elementos maiores, usando o método de regressão de mínimos quadrados, a composição com menos SiO_2 do granito biotítico□moscovítico, representando o magma parental, as composições dos seus minerais determinadas por microsonda electrónica e as outras análises químicas deste granito e das soleiras aplito-pegmatíticas, representando magmas residuais. As soleiras aplito-pegmatíticas podem ser derivadas do magma do granito biotítico□moscovítico pela cristalização fraccionada de quartzo, plagioclase, feldspato potássico e biotite, o que é confirmado pelas concentrações calculadas de Sr, Ba e Rb usando a equação de cristalização fraccionada perfeita (Fig. 3) (Neiva et al., 2008).

Tabela 1 – Características de alguns filões e soleiras aplito-pegmatíticos graníticos da região centro de Portugal

Área	Arcozelo da Serra Sobreposta e Lágeas	Sabugal Cabeço dos Poupos	Belmonte Gonçalo
Classificação *	classe de moscovite- -elementos raros (MSREL)	família Li-Cs-Ta, classe de elementos raros (REL), subclasse REL-Li, tipo berilo e subtipo berilo- -columbite-fosfato	família Li-Cs-Ta, classe de elementos raros (REL), subclasse REL- Li, tipo complexo; alguns do subtipo ambligonítico e outros do subtipo lepidolítico
Orientação	subhorizontais, NW-SE (Sobreposta) N-S a WNW-ESE, < 30° NE (Lágeas)	E-W e WNW-ESE	subhorizontais, NE-SW, 10°-25° NE, N-S, 20° E e NNE-SSW, 20° E
Espessura	0.2-2.5 m (Sobreposta) 0.3-1.5 m (Lágeas)	filões 10 cm -15 m soleiras até 2.5 m	subtipo ambligonítico alguns cms até 15 m; subtipo lepidolítico alguns cms até 5 m
Comprimento	50 - 700 m (Sobreposta) 50 - 500 m (Lágeas)	filões até 700 m soleiras até 200 m	subtipo ambligonítico até 4 km; subtipo lepidolítico até 4 km
Minerais existentes nas 3 áreas	quartzo, ortoclase e microclina zircão, apatite, columbite-tantalite	microperfiticas, albite, moscovite, berilo, turmalina,	
Minerais só encontrados em algumas das 3 áreas	siderofilite, granada, monazite, uraninite, arsenopirite, raramente montebrasite e espodumena	moscovite litinífera, cassiterite, triplite e raros zinvaldite, politionite, lepidolite, heterosite e eosforite	moscovite litinífera, topázio, ambligonite, monazite, cassiterite nos dois subtipos; petalite, lepidolite, microlite, torbernite, autunite e raras arsenopirite, pirite e calcopirite no subtipo lepidolítico
Textura nas 3 áreas	granular anédrica no aplito e granular subédrica no pegmatito		
Tamanho do grão nas 3 áreas	grão fino no aplito e grão grosseiro a muito grosseiro no pegmatito, mas localmente de grão fino no pegmatito		
Rocha regional	granodiorito-granito moscovítico>biotítico (Sobreposta); granito biotítico□moscovítico (Lágeas) (Fig. 1b)	granito biotítico>moscovítico G3 (Fig. 4c)	Complexo Xisto- Metagrauváquico e granito biotítico>moscovítico G1 (Fig. 8)

* Classificação de Cerny e Ercit (2005)

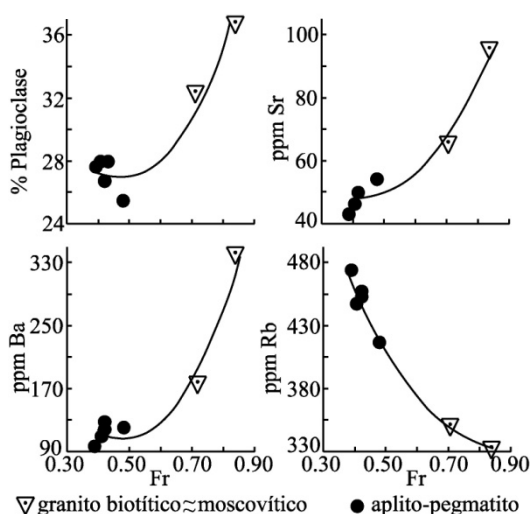


Fig. 3 – Projecção da plagioclase modal do cumulado e concentrações calculadas de Sr, Ba e Rb das amostras mais evoluídas do granito biotítico□moscovítico e das soleiras aplito-pegmatíticas graníticas de Arcozelo da

Serra versus a fracção em peso do magma residual durante a cristalização fraccionada (Fr).

3. Área de Sabugal

3.1 Geologia e Petrografia

Na área de Sabugal, os granitos intruíram o Complexo Xisto-Metagrauváquico (Fig. 4a, b). Afloram: o granito de grão grosseiro porfiróide biotítico>moscovítico G1, o granito de grão fino a médio porfiróide biotítico>moscovítico G2 que intruiu G1 e passa gradualmente ao granito de grão grosseiro porfiróide biotítico>moscovítico G3, sendo tardi-D3 e de idades 304-301 Ma. O granito de grão médio a grosseiro, moscovítico>biotítico G4 penetrou G1 e G3, é tardi- a pós-D3 e de 299±3 Ma. A idade U-Th-Pb

da monazite de G1 foi obtida por SHRIMP e as idades dos outros granitos são U-Pb de zircão e monazite por ID-TIMS.

A área de Cabeço dos Poupas (Fig. 4b, c) foi seleccionada para estudar principalmente filões e soleiras aplito-pegmatíticas graníticas, cujas características são apresentadas na Tabela 1. Os contactos dos filões e soleiras com o granito hospedeiro G3 são principalmente nítidos. Os filões aplito-pegmatíticos são geralmente zonados e há soleiras não zonadas e outras zonadas. Geralmente, nos filões há aplito a muro e pegmatito a tecto e camadas alternantes de aplito-pegmatito e pegmatito, até 5-6 camadas, e de aplito e pegmatito nas soleiras.

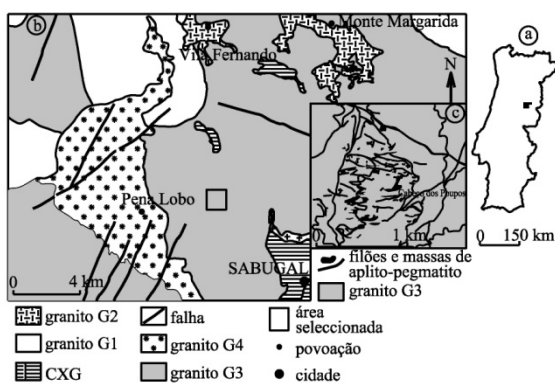


Fig. 4 - a. Localização da área de Sabugal no mapa de Portugal; b. mapa geológico desta área; c. mapa geológico de Cabeço dos Poupas. CXG - Complexo Xisto-Metagrauváquico.

Os granitos são constituídos por quartzo, ortoclase e microclina micropertíticas, plagioclase, biotite, moscovite, zircão, apatite, monazite e ilmenite. G1 tem andaluzite e este e G4 possuem turmalina. Os minerais dos filões e soleiras aplito-pegmatíticas graníticas são dados na Tabela 1.

3.2 Geoquímica

Os diagramas de variação de elementos maiores e menores e cocientes entre elementos para os granitos G2, G3 e filões e soleiras aplito-pegmatíticos graníticos definem evoluções de cristalização fraccionada (Fig. 5). Os perfis de terras raras destas rochas graníticas são subparalelos, os valores de $\delta^{18}\text{O}$ dos filões e soleiras são idênticos aos do granito G3 e as moscovites primárias das rochas graníticas e moscovite litinífera dos filões e soleiras definem uma evolução no gráfico Li versus Mg, indicando que os filões e soleiras estão relacionados com os granitos G2 e G3 por cristalização fraccionada.

Para a modelização de elementos maiores efectuada pelo método de regressão de mínimos quadrados, usou-se a composição com menor teor de SiO_2 do granito G2, como magma parental, as composições dos minerais desta amostra, obtidas por microsonda electrónica, e as análises químicas do granito G3 e dos filões e soleiras aplito-pegmatíticas, representando os magmas residuais. O granito G3, os filões e as soleiras podem ser derivados do magma do granito G2 por cristalização fraccionada de quartzo, plagioclase, feldspato potássico, biotite e ilmenite, o que é confirmado pela modelização de Sr, Ba e Rb feita pela equação de cristalização fraccionada perfeita (Fig. 6).

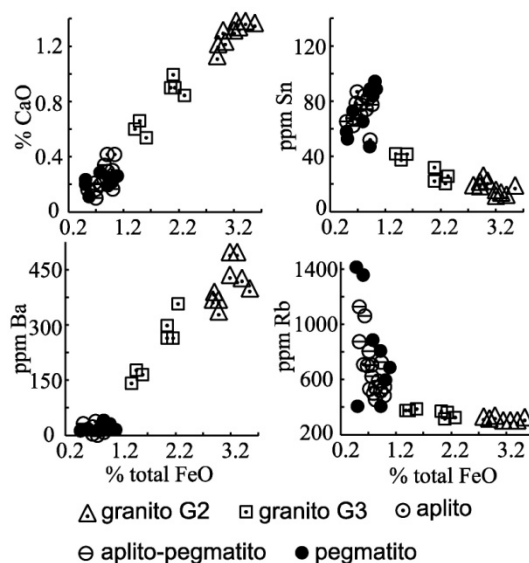


Fig. 5 - Diagramas de variação dos granitos biotítico>moscovíticos G2 e G3 e filões e soleiras aplito-pegmatíticas de Sabugal, indicando cristalização fraccionada.

4. Área de Belmonte

4.1 Geologia e Petrografia

Na área de Belmonte, afloram os mesmos granitos biotítico>moscovíticos G1, G2 e G3 tardi-D3 e o granito moscovítico-biotítico G4 tardi- a pós-D3 que ocorrem na área de Sabugal (Fig. 7a, b).

Foi seleccionada a área de Gonçalo (Figs. 7b, 8) para estudar as soleiras aplito-pegmatíticas graníticas que cortam o granito G1, mostrando contactos nítidos. Portanto, têm um granito hospedeiro distinto do que têm os filões e soleiras aplito-pegmatíticas graníticas de Sabugal (Fig. 4). As soleiras dos subtipos ambigonítico e lepidolítico são simples ou progressivamente complexas atingindo 14-15 camadas alternantes de pegmatito e aplito

lepidolíticos, com pegmatito grosseiro a muro e pegmatito fino a tecto (Neiva e Ramos, 2010). A petrografia das soleiras é apresentada na Tabela 1.

4.2 Geoquímica

Os diagramas de variação dos elementos maiores e menores dos granitos G2, G3 e soleiras dos subtipos ambligonítico e lepidolítico indicam um modelo de cristalização fraccionada que é apoiado pela correlação $\square^{18}\text{O}$ versus total FeO. As moscovites primárias destas rochas graníticas definem uma evolução no diagrama Al^{VI} versus Mg (Neiva e Ramos, 2010), apoiando este modelo.

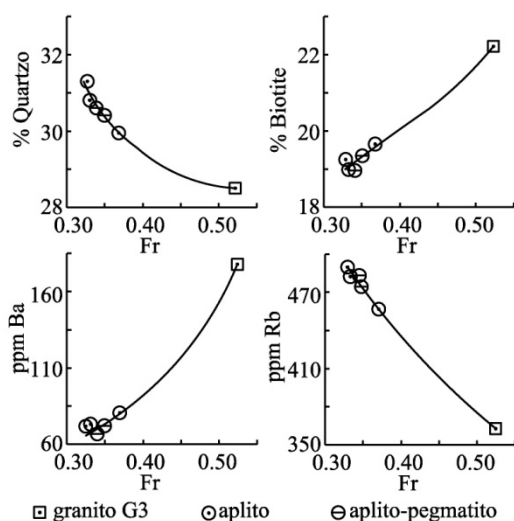


Fig. 6 – Projecção de quartzo e biotite modais do cumulado e concentrações calculadas de Ba e Rb das rochas graníticas de Sabugal versus a fracção em peso do magma residual (Fr) durante a cristalização fraccionada.

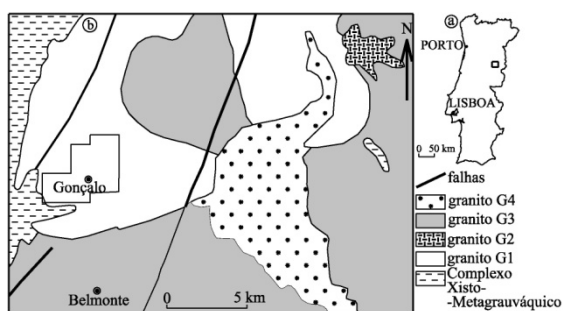


Fig. 7 – a. Localização da área de Belmonte no mapa de Portugal; b. mapa geológico desta área com referência da área estudada de Gonçalves.

A modelização dos elementos maiores e menores foi efectuada como indicado para a

área de Sabugal, e mostrou que o granito G3 e as soleiras aplito-pegmatíticas graníticas dos subtipos ambligonítico e lepidolítico podem ser derivadas do magma do granito G2 pela cristalização fraccionada de quartzo, plagioclase, feldspato potássico, biotite e ilmenite.

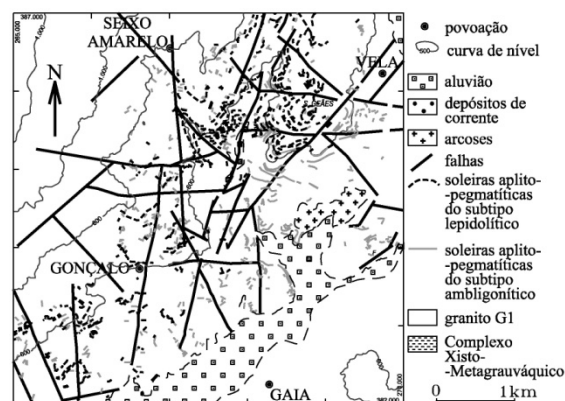


Fig. 8 – Mapa geológico parcial da área estudada na região de Gonçalves.

5. Petrogénese dos aplito-pegmatitos das três áreas

Os diagramas de variação de elementos maiores e menores e cocientes de elementos de alguns granitos do tipo S e soleiras e filões aplito-pegmatíticos graníticos das três áreas estudadas (Figs. 2, 5 e 9) sugerem o mecanismo de cristalização fraccionada, o que é apoiado por outras características geoquímicas já mencionadas. Este mecanismo foi testado para elementos maiores e menores em cada área (Figs. 3, 6 e 10) e estas soleiras e filões podem derivar de um magma de granito da área respectiva, por cristalização fraccionada de quartzo, plagioclase, feldspato potássico e biotite, mas em Cabeço dos Poupas e Gonçalves houve também a fraccionação da ilmenite.

Em Arcozelo da Serra, os teores determinados de Rb das soleiras aplito-pegmatíticas são próximos dos valores calculados, enquanto os teores determinados de Sr e Ba destas soleiras são 2 e 3-9 vezes menores, respectivamente, do que os valores calculados por modelização (Neiva et al., 2008). As distribuições totais de Rb e Ba são controladas por feldspato potássico e biotite e a de Sr por plagioclase. Os fluxos (H_2O , F, P e B) e fluidos causaram decréscimo em Sr e especialmente em Ba.

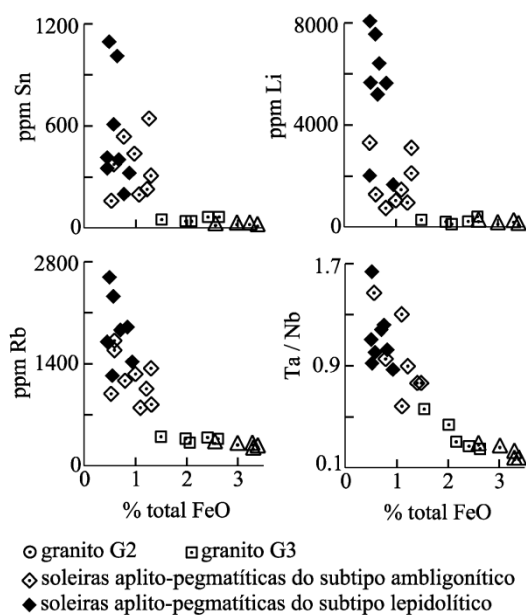


Fig. 9 – Diagramas de variação dos granitos biotítico-moscovíticos G2 e G3 e das soleiras aplito-pegmatíticas graníticas de Belmonte, sugerindo cristalização fraccionada.

Em Cabeço dos Poupos (Sabugal), os teores determinados de Sr e Ba são 1.8 e 2-5 vezes menores do que os valores calculados de Sr e Ba, respectivamente, enquanto a concentração determinada de Rb é até 1.4 vezes maior do que o valor calculado. Estes filões e soleiras são mais evoluídos do que as soleiras de Arcozelo da Serra, pois têm moscovite litinífera, triplite e raras zinvaldite, polilitionite e lepidolite (Tabela 1).

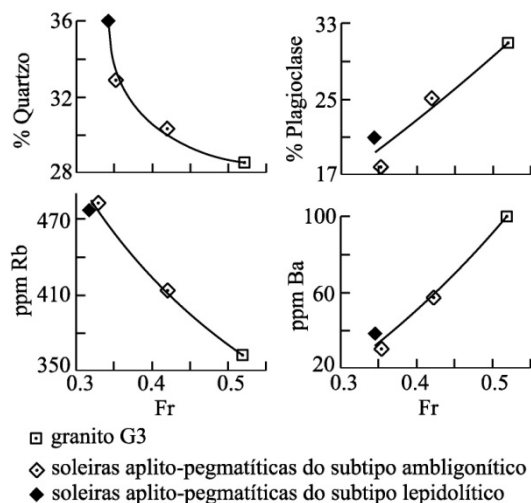


Fig. 10 – Projecção de quartzo e plagioclase modais do cumulado e concentrações calculadas de Rb e Ba das rochas graníticas de Belmonte versus a fracção em peso do magma residual (Fr) durante a cristalização fraccionada.

Os fluxos e fluidos foram mais abundantes e afectaram os teores de Sr, Ba e Rb, estando o teor de Rb retido no feldspato potássico e micas ricas em Li.

As soleiras de Gonçalo (Belmonte) são as mais evoluídas, pois têm moscovite litinífera, topázio, schorl, ambligonite, petalite, lepidolite e microclite (Tabela 1). Os valores calculados e determinados de Sr são próximos, mas os valores determinados de Ba tendem a ser menores do que os calculados e os de Rb são 2-3 vezes superiores aos calculados (Neiva e Ramos, 2011), pois os comportamentos de Ba e Rb foram controlados pelos fluxos e fluidos. O Rb está retido no feldspato potássico e nas micas ricas em Li, especialmente na lepidolite.

Com o aumento no grau de evolução dos aplito-pegmatitos graníticos, a distinção entre teores determinados e calculados para Sr e Ba torna-se menor, mas aumenta para Rb, passando este a ser o mais controlado pelos fluxos e fluidos, o que é lógico, pois o aumento na cristalização fraccionada causará diminuição das concentrações de Sr e Ba e aumento do teor de Rb. A cristalização fraccionada aumentou as concentrações de Rb, Li, F, Sn e Ta, que atingiram os valores mais elevados nas soleiras aplito-pegmatíticas do subtipo lepidolítico de Gonçalo (Neiva e Ramos, 2010), e os fluxos e fluidos afectaram a cristalização de lepidolite, cassiterite e óxidos de Nb-Ta.

Referências Bibliográficas

- Černý, P., Ercit, T.S. 2005. The classification of granitic pegmatites revisited. *Can. Mineral.* 43, 2005-2026.
- London, D. 2008. Pegmatites. *Can. Mineral. Sp. Publ.* 10, 347 pp.
- Neiva, A.M.R., Gomes, M.E.P., Ramos, J.M.F., Silva, P.B. 2008. Geochemistry of granitic aplite-pegmatite sills and their minerals from Arcozelo da Serra area (Gouveia, central Portugal). *Eur. J. Mineral.* 20, 465-485.
- Neiva, A.M.R., Ramos, J.M.F., 2010. Geochemistry of granitic aplite-pegmatite sills and petrogenetic links with granites, Guarda-Belmonte area, central Portugal. *Eur. J. Mineral.* 22, 837-854.